

filtre coupe-bande audio à fréquence réglable

solution universelle de suppression de fréquences dans le domaine audio

Alfred Rosenkränzer (Allemagne)

Lors de la mesure de la distorsion dans les appareils audio, il est judicieux d'éliminer le signal de test sinusoïdal avant l'analyseur de spectre. Cette opération devient particulièrement aisée avec ce filtre coupe-bande dont la fréquence est réglable. Les mesures ne sont donc pas limitées à la fréquence typique de 1 kHz, mais peuvent s'étendre aux domaines des graves et des aigus.

Les avantages de l'insertion d'un filtre coupe-bande lors de la mesure de distorsions telles que la distorsion harmonique totale (THD) dans le domaine de l'audio ont déjà été discutés en détail dans mon article « Filtre coupe-bande de Fliege pour les mesures audio » [1]. En voici un résumé des points les plus importants.

Mesures avec un filtre coupe-bande

Lorsqu'on mesure la distorsion d'un signal de test à la sortie d'un circuit, il n'est pas facile de distinguer la part de cette distorsion apportée par le signal de test de celle propre à l'appareil évalué et, enfin, de celle ajoutée par l'appareil de mesure. La procédure suivante permet toutefois d'effectuer une mesure raisonnable. Tout d'abord, mesurez et notez le niveau du signal de test en l'absence de filtre coupe-bande à l'entrée de l'appareil de mesure. Puis, au lieu d'envoyer simplement la sortie (après réglage du niveau) à un analyseur de spectre, insérez un filtre coupe-bande accordé précisément sur la fréquence du signal de test sinusoïdal entre la sortie de l'appareil testé et l'entrée de l'appareil de mesure. Le signal de test est ainsi fortement atténué et ne peut

donc pas être la cause de distorsions dans l'étage d'entrée de l'appareil de mesure ou dans le numériseur d'un analyseur de spectre. Dans la plupart des cas, une atténuation de 50 dB suffit. Les distorsions mesurées maintenant sont presque certainement déjà contenues dans le signal à mesurer et proviennent donc soit du signal de test lui-même, soit, si ce signal est de haute qualité, presque entièrement de l'appareil testé.

Bien entendu, pour cette application, la qualité du filtre coupe-bande lui-même doit être excellente. Il doit produire le moins de distorsion possible et, surtout, son étage d'entrée ne doit jamais être saturé. En outre, les fréquences du filtre coupe-bande et du signal de test doivent être très précisément égales ce qui requiert des réglages très fins, en particulier pour cette dernière, car les filtres coupe-bande les plus simples, comme ceux utilisés ici, sont à bande très étroite et de nombreux filtres de ce type (comme celui décrit dans [1]) sont à fréquence fixe. L'un des inconvénients de ce genre de solutions est qu'il faut un filtre coupe-bande approprié pour chaque fréquence du signal de test si l'on veut aller au-delà de la mesure habituelle à 1 kHz.

Filtre coupe-bande réglable

Ce sont surtout les limitations concernant les fréquences de test qui m'ont motivé pour développer un nouveau filtre à fréquence

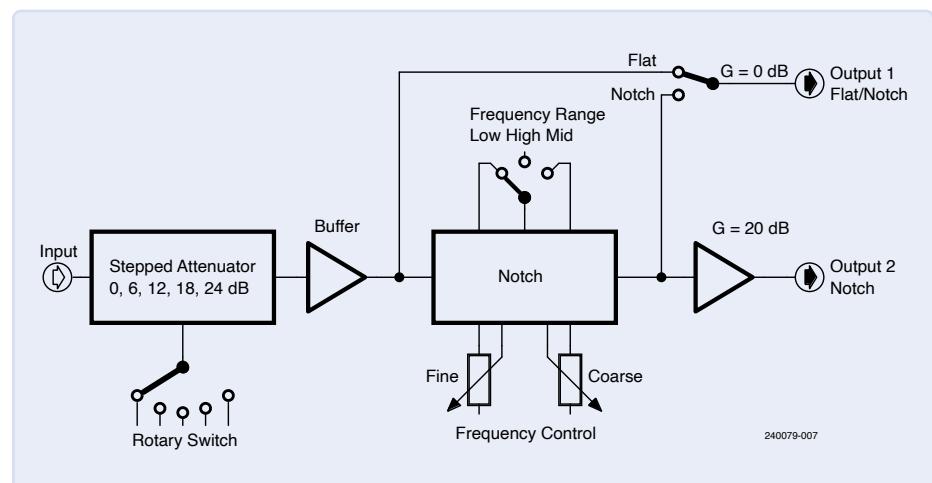


Figure 1. Schéma de principe du filtre coupe-bande.

Caractéristiques techniques

- Le signal d'entrée peut être atténué de 0, 6, 12, 18 ou 24 dB à l'aide d'un atténuateur commutable.
- La fréquence du filtre peut être réglée à l'aide de deux potentiomètres (fin et grossier) dans un rapport de 1:7.
- Il existe trois bandes de fréquences (basse, medium et haute), qui peuvent être sélectionnées à l'aide d'un commutateur. Ces bandes couvrent la majeure partie du spectre audio.
- Le filtre coupe-bande peut être contourné à l'aide d'un commutateur pour alterner entre le signal filtré et le signal d'entrée.
- Une deuxième sortie fournit un signal filtré amplifié d'un facteur 10 afin de pouvoir mesurer raisonnablement même des petits signaux de test et/ou d'étendre la plage de mesure des distorsions en les amplifiant de +20 dB.

régliable de haute qualité. Il couvre la majeure partie du spectre audio. Les performances de ce filtre sont présentées dans l'encadré « Caractéristiques techniques ».

Examinons tout d'abord le circuit de la **figure 1**. Le signal d'entrée passe d'abord par un atténuateur commutable de 0, 6, 12, 18 ou 24 dB afin d'être réduit au niveau optimal pour le filtre coupe-bande d'environ -10 dB (environ 0,9 V_{CC}). Ce niveau est un compromis optimal entre le bruit et la distorsion qui naissent dans le filtre coupe-bande. Le signal est envoyé à l'entrée du filtre coupe-bande via un tampon, tandis que le signal non filtré est envoyé à la sortie 1 via le commutateur (*Flat/Notch*). Lorsque le commutateur est sur la position *Flat*, le niveau peut être mesuré sur cette sortie en y connectant un analyseur audio, un voltmètre numérique approprié ou un oscilloscope.

Avec un appareil tel que le QuantAsylum QA403, il est possible de saisir la valeur d'atténuation sélectionnée pour obtenir des niveaux corrigés. Avec un appareil de mesure moins perfectionné, vous devrez finalement corriger vous-même les niveaux mesurés.

Le sélecteur de plage à trois positions permet de choisir une plage de fréquence de coupure. Les trois plages couvrent les bandes de

Liste des composants

Résistances

Sauf indication contraire :
MELF 0204 ou CMS 1206 à couche mince, 1%
R1, R4, R13, R16, R24 = 100 Ω
R2 = 100 kΩ
R3, R5, R6, R9 = 2,8 kΩ
R7, R20 = non installées
R8, R21 = 1,8 kΩ
R10 = 1,5 kΩ
R11 = 0 Ω
R12 = 4,22 kΩ, CMS 0603
R14 = 2,15 kΩ
R15, R17 = 8,2 kΩ
R18, R19, R25, R26 = 4,7 kΩ, CMS 0603
R22, R23, R27, R28 = 10 kΩ, CMS 0603
R29, R30 = 1 kΩ, CMS 0603
R31, R32 = 47 Ω, CMS 1206
R33 = 3,3 kΩ, CMS 0603
R36 = 1,1 kΩ
R37 = 10 kΩ
R38 = 220 Ω
R15, R17 = 8,2 kΩ
P1 = 10 kΩ lin., potentiomètre stéréo, 4 mm
P2 = 1 kΩ lin., potentiomètre stéréo, 4 mm

Semi-conducteurs

D1...D5 = 1N4148, DO214AC
D6...D8 = SK34, DO214AC
B1 = B40C1000, pont redresseur, rond
LED1, LED2 = LED, CMS 0805
T1...T4 = 2N3904, SOT23
IC1..IC3 = OPA2210, SOIC8
IC4 = 7812, TO220
IC5 = 7912, TO220
IC6 = 7805, TO220

Divers

X1, X4 = Embase BNC, AMP 227161
X2 = bornier à vis à 2 bornes, pas 5 mm,
AK300/2
X3 = bornier à vis à 3 bornes, pas 5 mm,
AK300/3
K1...K3, K5, K6, K8 = barrette à 2 broches,
pas 1/10"
K4 = barrette à 4 broches, pas 1/10"
K7 = barrette à 3 broches, pas 1/10"
K1 = relais CMS, 2 × inverseur, TQ2-SA-5V
(Forme C)
K2...K5 = relais CMS, 5 V, 9802-05-00
F1 = fusible, 250 mA, porte-fusible 22.5 mm
TR1 = transformateur, 3.6 VA, 2 × 12 V sec.,
Gerth 387.24.2
Atténuateur = circuit imprimé assemblé
(voir texte)
Commutateur 1 × 5 (or 2 × 5)
LED, 5 mm avec embase
Commutateur sur K4, 1 × inverseur à position
centrale (voir texte)
Interrupteur sur K2
3 embases BNC isolées, pour montage sur
panneau avant
2 x bouton pour potentiomètre, axe 4-mm
1 x bouton pour commutateur rotatif,
axe 6-mm

Condensateurs

C1, C7 = 82 nF, C0G, CMS 0805
C2, C8 = 100 nF, C0G, CMS 1206
C3, C9 = 5,6 n, C0G, CMS 0603
C4, C10 = 22 nF, C0G, CMS 0805
C5, C11 = 1,5 n, C0G, CMS 0603
C6, C12 = 3,9 n, C0G, CMS 0603
C13, C14 = 2,200 μF / 16 V, électrolytique,
pas 2/10"
C15...C18, C22...C28 = 100 nF, X7R, CMS 0603
C19, C20, C29...C36 = 22 μF / 20 V, tantale,
SMC-B
C21 = 220 μF / 16 V, électrolytique, pas 2/10"

fréquences suivantes : *basse* = 80...530 Hz, *medium* = 485...3280 Hz, et *haute* = 2,99...20 kHz. La fréquence dans ces plages peut être modifiée dans un rapport de 1 à 7 à l'aide des deux potentiomètres de réglage de la fréquence (*grossier* et *fin*). Ces plages peuvent être adaptées à vos propres besoins en utilisant d'autres valeurs de composants, moyennant toutefois un certain effort de calcul. Le signal de sortie du filtre est envoyé soit directement à la sortie 1 via le commutateur,

soit à la sortie 2 amplifié de 20 dB supplémentaires, ce qui est utile pour mesurer des signaux plus petits ou pour élargir le domaine de mesure des niveaux de distorsion faibles si l'analyseur audio ne dispose pas d'un réglage d'amplitude calibré.

Circuit

La **figure 2** montre le circuit détaillé, et la **figure 3**, la disposition du circuit imprimé que j'ai conçu. L'atténuateur d'entrée n'est pas

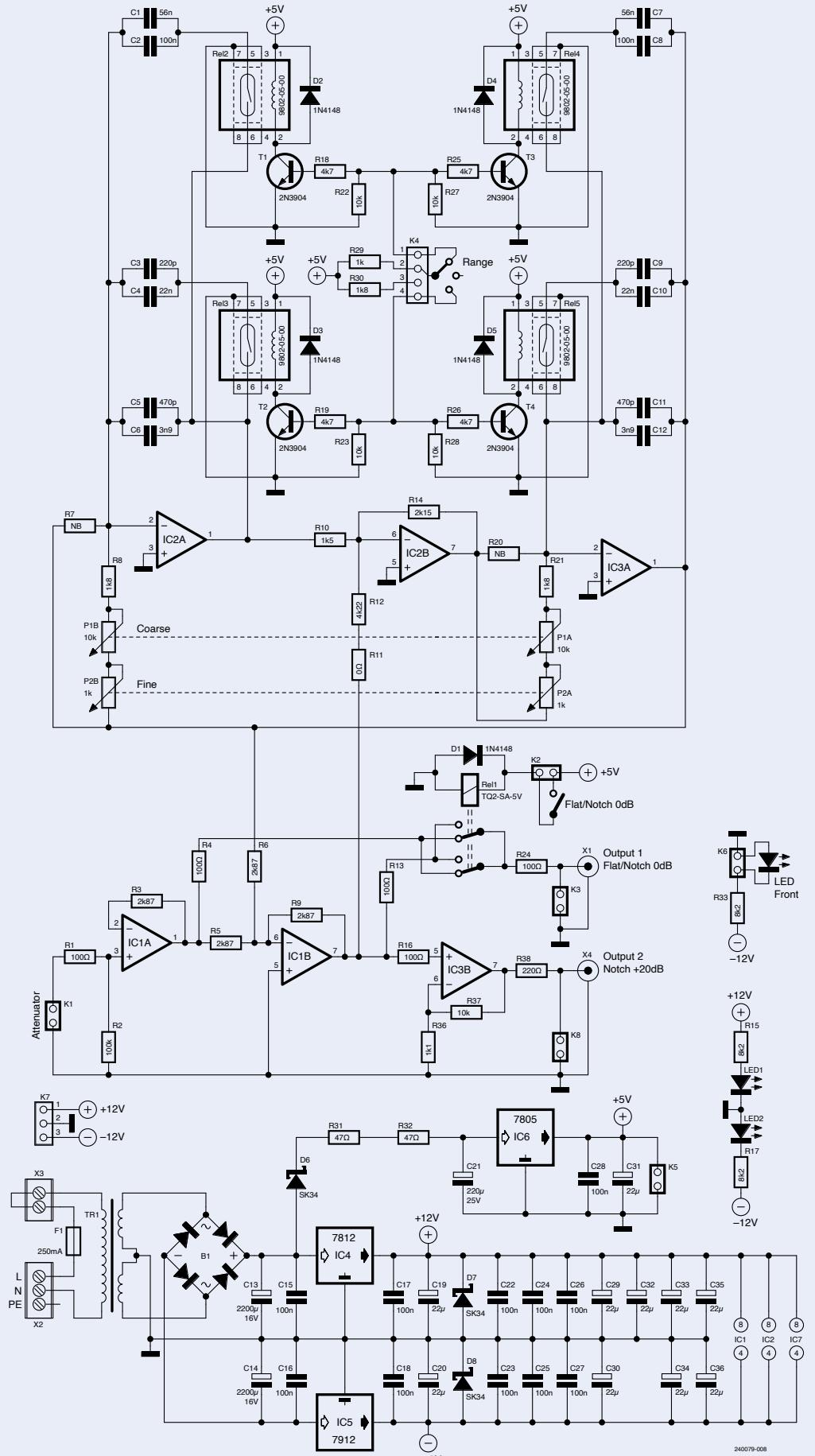


Figure 2. L'atténuateur ne fait pas partie du circuit du filtre. Il est connecté à K1.

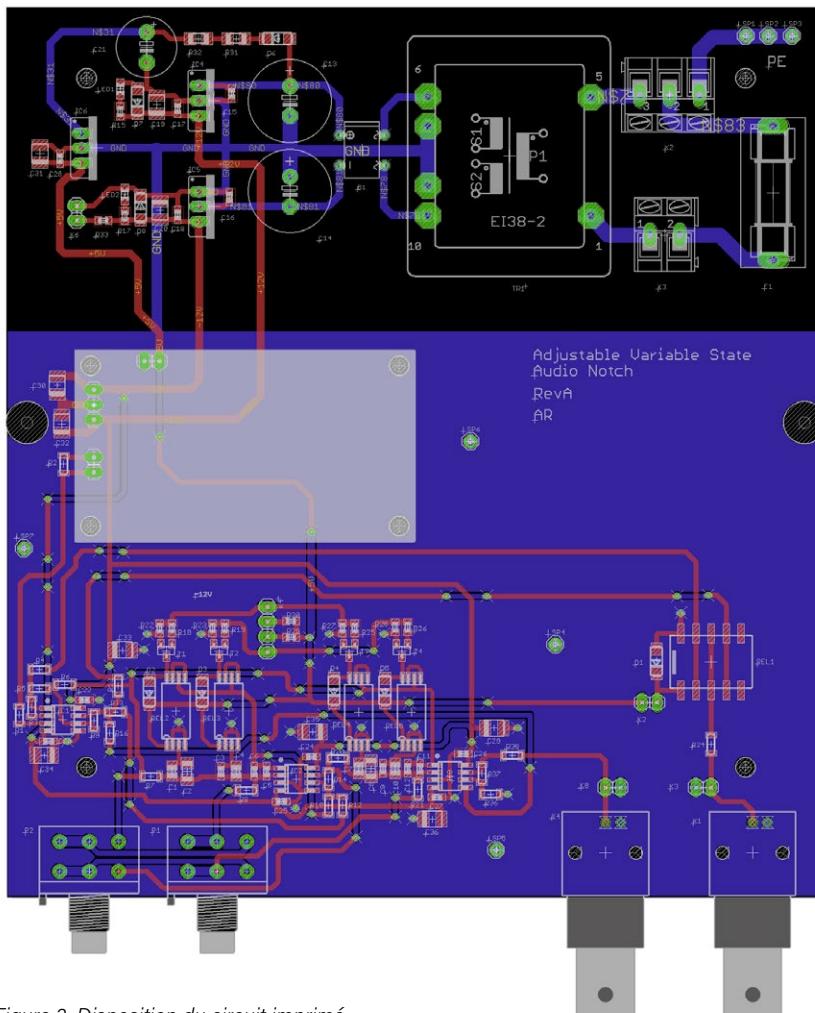


Figure 3. Disposition du circuit imprimé.

inclus dans la figure 2. Il s'agit d'un circuit imprimé séparé qui est implanté sur le circuit imprimé du filtre. Je l'ai décrit précédemment dans mon article « Atténuateurs pour signaux audio (2) » [2] dans Elektor. La version asymétrique est normalement suffisante si aucune entrée différentielle n'est requise. Les différentes atténuations sont sélectionnées à l'aide d'un commutateur rotatif.

La sortie de l'atténuateur est connectée à K1 et atteint ainsi le tampon IC1A, dont le signal de sortie est envoyé à la sortie 1 (X1, K3) via R4 et les contacts du relais Rel1 en position *Flat*. Le filtre coupe-bande est commandé par R5. Il s'agit d'un « filtre à variable d'état » construit autour de IC1B, IC2A, IC2B et IC3A. Il est important que les composants déterminant la fréquence pour IC2A et IC3A soient identiques. Ceci s'applique aux condensateurs dans les branches de rétroaction négative de IC2A et IC3A ainsi qu'aux résistances devant

les entrées inverseuses de ces op-amps, c'est-à-dire les potentiomètres 1-kΩ et 10-kΩ ainsi que R8 et R21 (puisque R7 et R20 ne sont pas montés).

Les potentiomètres doivent être des versions stéréo, car les intégrateurs autour de IC2A et IC3A doivent toujours être réglés de la même manière. Si l'on ne tient pas compte de R7 et R20 (qui ne sont pas montés), la résistance minimale pour les deux intégrateurs avec les potentiomètres tournés à zéro est simplement $R8 \text{ ou } R21 = 1,8 \text{ k}\Omega$. Si les potentiomètres sont complètement tournés vers le maximum, 11 kΩ supplémentaires sont ajoutés dans chaque cas. La plage de variation est donc de 12,8 kΩ / 1,8 kΩ ≈ 7,11.

C5/C6 et C11/C12 sont des condensateurs installés en fixe pour IC2A et IC3A, respectivement, et déterminent la bande de fréquences haute. Les relais Rel3 et Rel5 sont utilisés pour commuter les condensateurs C3/C4

(ou C9/C10) connectés en parallèle avec C5/C6 (ou C11/C12) pour la bande de fréquence moyenne. De la même manière, les relais Rel2 et Rel4 commutent les C1/C2 (ou C7/C8) connectés en parallèle avec C5/C6 (ou C11/C12) pour la bande de fréquence basse. Tous les relais sont des versions 5 V. Les relais pour la commutation de bande sont contrôlés par T1 à T4. Un commutateur à position centrale (comme dans mon prototype) ou un commutateur rotatif à trois positions peut être connecté à K4 pour le réglage. Le relais Rel1, qui sert à commuter entre le signal d'entrée (atténué et tamponné) et la sortie du filtre coupe-bande, est activé directement par un interrupteur connecté à K2.

Pour la deuxième sortie avec un niveau plus élevé, le signal du filtre coupe-bande est amplifié d'un facteur 10, soit 20 dB, à l'aide de IC3B. D'autres facteurs d'amplification sont possibles en modifiant R36 et/ou R37. Si vous ne souhaitez pas utiliser de prises BNC, vous pouvez également connecter des prises RCA à K3 et K8, par exemple.

L'alimentation ±12 V des amplificateurs opérationnels est fournie par le transformateur TR1, suivi d'un pont redresseur, de condensateurs



Figure 4. Circuit imprimé assemblé du prototype, installé dans son boîtier.



Figure 5. La face avant du filtre coupe-bande.

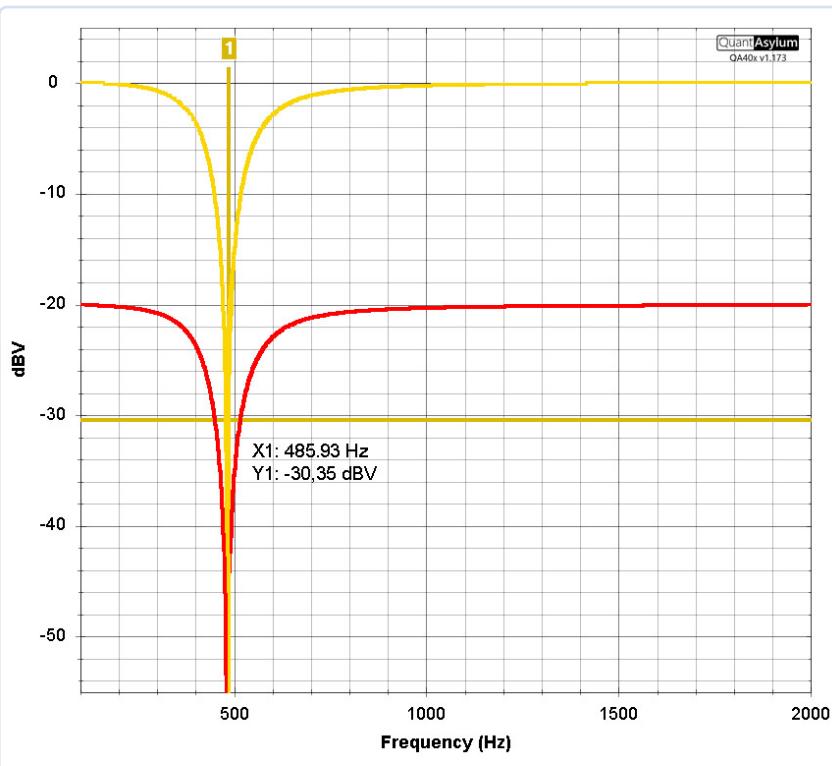


Figure 6. Courbes de réponse en fréquence, sortie 1 (rouge) et sortie 2 (jaune).

de filtrage et de régulateurs de tension. Les LED1 et LED2 indiquent la présence des tensions d'alimentation symétriques. Une LED supplémentaire peut être connectée à K6 comme indicateur de fonctionnement pour le panneau avant. Le circuit imprimé de l'atténuateur commutable est également alimenté en ± 12 V via K7.

Des condensateurs de 100 nF sont placés directement sur les broches d'alimentation des op-amps. Entre les deux se trouvent des condensateurs au tantalum de 22 μ F, destinés à garantir des tensions d'alimentation propres. Un régulateur de tension séparé, IC6, est dédié à l'alimentation en 5 V des relais. Les relais de l'atténuateur sont également alimentés par cette tension via K5.

Construction, composants, et qualité

Un circuit sophistiqué ne suffit pas à lui seul pour obtenir un bon filtre. La qualité globale dépend essentiellement de la qualité des composants sur le trajet du signal. Les résistances concernées sont donc du type Mini

MELF 204, qui peuvent rivaliser avec les résistances à film métallique en termes de qualité. Bien entendu, les résistances conventionnelles (et donc moins chères) à couche mince au format CMS 1206 peuvent également être utilisées. Cependant, les condensateurs doivent toujours être de type COG, car même un seul condensateur X7R sur le trajet du signal gâcherait tout le circuit. Le type d'amplificateur opérationnel que j'utilise est le OPA2210. La **figure 4** montre le circuit imprimé assemblé et installé dans un boîtier Teko, et la **figure 5** montre l'aspect (pas encore parfait) du panneau avant. Il a été conçu à l'aide d'un logiciel de dessin et imprimé sur un film autocollant à l'aide d'une imprimante laser. Les trous ont été percés à l'aide d'emporte-pièces. La **figure 6** montre la réponse en fréquence de la sortie 1 (*Flat/Notch*) en position *Notch* en rouge et de la sortie 2 amplifiée de 20 dB en jaune, enregistrée avec l'analyseur audio QuantAsylum QA403. Le filtre est vraiment à bande très étroite : A deux fois la fréquence de coupure, l'atténuation est déjà presque à zéro. ↵

Vf : Helmut Müller — 240079-04

LIENS

- [1] A. Rosenkränzer, « filtre coupe-bande de Fliege pour les mesures audio », Elektor 9-10/2022 : <https://www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-275/61027>
- [2] A. Rosenkränzer, « atténuateurs pour signaux audio », Elektor Circuit Special 2024 : <https://www.elektormagazine.fr/240176-B-04>



Produits

› QuantAsylum QA403 Analyseur audio 24-Bit
www.elektor.fr/20530

› JOY-iT JDS6600 Générateur de signaux & Fréquencemètre
www.elektor.fr/18714



À propos de l'auteur

Alfred Rosenkränzer a travaillé comme ingénieur de développement pendant de nombreuses années, d'abord dans le domaine de la technologie de la télévision professionnelle. Depuis la fin des années 1990, il développe des circuits numériques à grande vitesse et des circuits analogiques pour les testeurs de circuits intégrés. L'audio est son passe-temps favori.

Questions ou commentaires ?

Envoyez un courriel à alfred_rosenkraenzer@gmx.de, ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr)